

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННЫХ СОСТАВОВ СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТРУБ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА ПО API 5CT

Софрыгина О.А.

проф., д.т.н. Пышминцев И.Ю.

ОАО «СинТЗ», г. Каменск-Уральский, e-mail: czl@sintz.ru

Для изготовления высокопрочных труб традиционно применяют улучшаемые хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые стали с содержанием углерода 0,25-0,35%. Однако из-за постоянного удорожания сырья понадобились альтернативные подходы к системе легирования сталей.

Концепция микролегирования сталей 0,32C-Mn-Cr добавками бора в диапазоне 0,002-0,005% использует уникальную способность бора: являясь горофильным элементом, он позволяет значительно повысить прокаливаемость и связанные с этим свойства при одновременной экономии дорогостоящих и дефицитных легирующих элементов (Mo, Ni, Cr и др.).

Разработка опытных химических составов проведена на основе расчетов идеального критического диаметра (D_I) согласно ASTM A255-07.

Для базового химического состава (Cr-Mn-Mo) D_I составляет 175мм, для разработанных марок стали 32ХБРА (Cr-Mn-Nb-B) и 32ХГМРА (Cr-Mn-Mo-B) D_I соответственно 157мм и 172мм.

По результатам построения ТКД определены температуры фазовых превращений при нагреве опытных марок стали: 740°C - A_{c1} и 800°C - A_{c3} . Температура начала мартенситного превращения $\sim 310^{\circ}\text{C}$, верхняя критическая скорость охлаждения $13^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ для стали 32ХБРА и $5^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ для стали 32ХГМРА. Для сравнения базовый химический состав близкий к борсодержащим, за исключением содержания молибдена 0,50-0,65%, имеет следующие характеристики мартенситного превращения: $M_n \sim 330^{\circ}\text{C}$ и верхняя критическая скорость $8^{\circ}\text{C}/\text{сек}$.

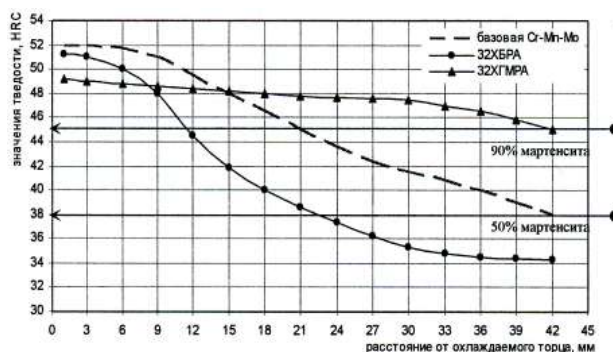


Рисунок 1 Кривые прокаливаемости по Джомини

Оценка прокаливаемости по ASTM A255-07 показала, что исследуемые марки стали имеют слабо выраженное падение твердости по длине торцевого образца. Расстояние до критической твердости (не менее 50% мартенсита) составляет для стали 32ХБРА 22мм и 32ХГМФРА более 42мм.

Таким образом, на прокаливаемость среднеуглеродистой стали с хромо-марганцевой основой наиболее эффективное влияние оказывает совместно легирование бором (0,003%) и молибденом (0,16%).

Сравнительный анализ механических свойств (σ , σ_t и KV) труб размером 73,02x5,51мм по API 5CT из стали Cr-Mn-Mo и борсодержащих марок стали представлен на рисунке 2.

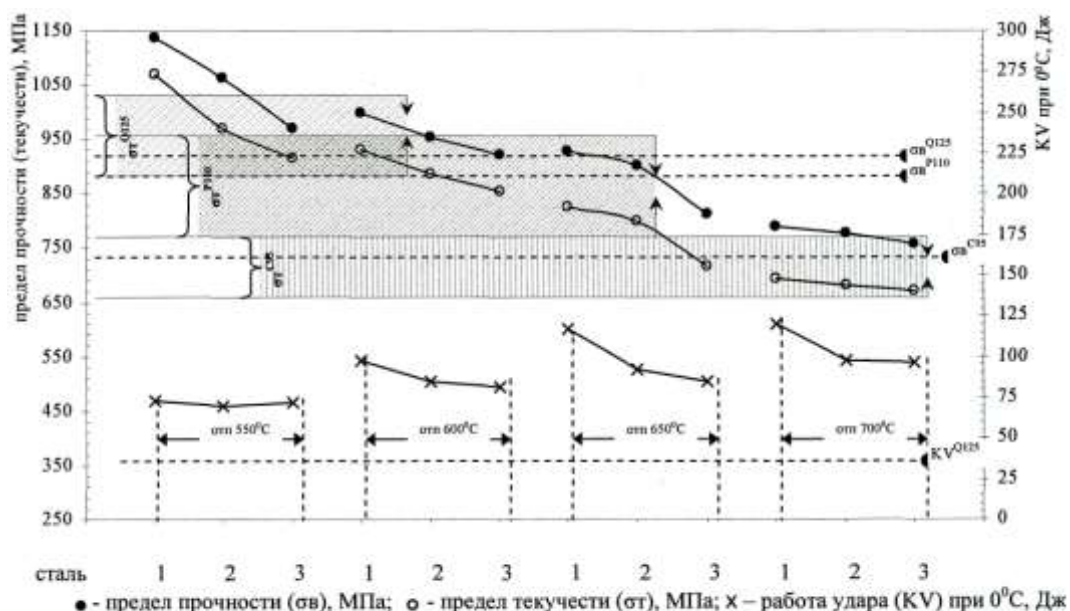


Рисунок 2 Механические свойства образцов труб из марок стали:
1- базовая Cr-Mn-Mo; 2- 32ХГМРА; 3- 32ХБРА

Трубы из предложенных марок стали 32ХБРА, 32ХГМРА после закалки с температуры 870°C и отпуска 550°C по прочностным свойствам соответствуют требованиям API 5CT для группы прочности Q125. Каждое последующее повышение температуры отпуска на 50°C приводит к снижению прочностных характеристик до группы прочности C95 при отпуске 700°C.

При этом работа удара при температуре испытания 0°C после отпуска труб из сталей 32ХБРА, 32ХГМРА по всем изученным режимам находится в диапазоне 70–98Дж (наиболее высокая норма для группы прочности Q125 - не менее 41Дж) и доля вязкой составляющей (ДВС) в изломе образцов в пределах 76–96% (требование PSL-2 не менее 75%). При повышении температуры отпуска отмечено, что работа удара борсодержащих марок стали повышается незначительно.

Сталь с микролегирующими добавками бора обеспечивает требуемую прокаливаемость по сечению труб с толщиной стенки до 30мм. Материал 32ХБРА обладает низкой устойчивостью против отпуска и выполнение базовых требований ударной вязкости критично. Марка стали 32ХБРА рекомендована для изготовления толстостенных труб с уровнем механических свойств группы прочности C95 и ниже.

Совместное легирование бором и молибденом в малых количествах решает задачу получения требуемого комплекса прочностных характеристик и ударной вязкости. Материал 32ХГМРА находит свое применение и позволяет

заменить часть позиций толстостенных труб групп прочности P110 и Q125 приходящихся на базовую Cr-Mn-Mo сталь.

Промышленное опробование сталей с полной или частичной заменой молибдена свидетельствует о достижении требований установленных API 5CT для высоких групп прочности. Влияние химического состава на отпущенное состояние требует проведение дальнейших исследований с целью оптимизации состава борсодержащих марок стали для оценки возможности изготовления высокопрочных труб нефтяного сортамента в хладостойком исполнении.